



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

09/919,667

4

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 2月 1日

出願番号
Application Number:

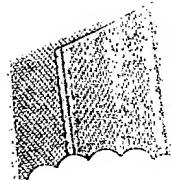
特願2001-025014

COPY OF PAPERS
ORIGINALLY FILED

出願人
Applicant(s):

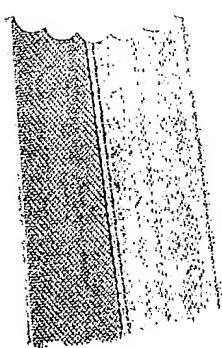
株式会社日立製作所

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

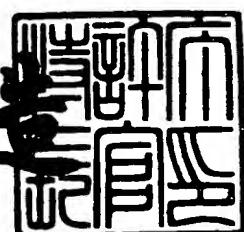


2001年 7月 27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office



及川耕



【書類名】 特許願
【整理番号】 D01000451A
【提出日】 平成13年 2月 1日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H04J 14/00
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
製作所生産技術研究所内
【氏名】 古市 浩朗
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
製作所生産技術研究所内
【氏名】 川本 和民
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立
製作所通信事業部内
【氏名】 黒口 克己
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立
製作所通信事業部内
【氏名】 山本 篤弘
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立
製作所通信事業部内
【氏名】 山田 圭一
【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立
製作所通信事業部内
【氏名】 奥村 努

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 株式会社日立
製作所通信事業部内

【氏名】 高井 和雄

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立
製作所生産技術研究所内

【氏名】 秦 昌平

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社 日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100075096

【弁理士】

【氏名又は名称】 作田 康夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013088

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光モジュール

【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体レーザと、該半導体レーザから出射されたビームをほぼ平行なビームに変換するレンズと、その変換されたビームを反射ビームと透過ビームとに分割するビームスプリッタと、その分割された一方のビームをエタロンを介して入射する受光素子と、もう一方のビームを入射する受光素子とを備えた光モジュールにおいて、該エタロンにビームが入射することで発生するエタロンからの反射ビームの中心が半導体レーザのビーム出射部以外に戻るように構成したことを特徴とする光モジュール。

【請求項2】

前記エタロンからの反射ビームの中心が、前記半導体レーザの出射部を含む端面以外に戻るように構成したことを特徴とする請求項1記載の光モジュール。

【請求項3】

前記半導体レーザの出射部が基板から遠くなるように実装されたジャンクションアップ接続において、前記レンズの中心と前記半導体レーザの発光中心とを合わせた状態に比べて、前記レンズを前記半導体レーザを実装した基板から離れる方向にずらして実装したことを特徴とする請求項1または2記載の光モジュール。

【請求項4】

前記半導体レーザの出射部が基板に近くなるように実装されたジャンクションダウン接続において、前記レンズの中心と前記半導体レーザの発光中心とを合わせた状態に比べて、前記レンズを前記半導体レーザを実装した基板に近づく方向にずらして実装したことを特徴とする請求項1または2記載の光モジュール。

【請求項5】

前記レンズのずらし量を、前記エタロンからの反射ビームのビームウェストの半径と前記基板からのレーザ出射部の高さとの合計量の2分の1よりも大きくしたことを特徴とする請求項3または4記載の光モジュール。

【請求項6】

前記レンズのずらし量を、前記レンズの焦点距離の $\tan 4^\circ$ の量よりも小さくしたことを特徴とする請求項3から5の何れかに記載の光モジュール。

【請求項7】

前記エタロンを透過する透過ビームに対して前記エタロンの入射面を傾けたことを特徴とする請求項2記載の光モジュール。

【請求項8】

前記エタロンのビーム入射面を1～5度の範囲で傾けたことを特徴とする請求項7記載の光モジュール。

【請求項9】

前記エタロンの側面形状を平行四辺形とすることで前記エタロンのビーム入射面を1～5度の範囲で傾けたことを特徴とする請求項7記載の光モジュール。

【請求項10】

前記エタロンと前記エタロンを実装する基板との接合材の厚みを変えることで前記エタロンの入射面を1～5度の範囲で傾けたことを特徴とする請求項7記載の光モジュール。

【請求項11】

半導体レーザから出射されたビームが、レンズでほぼ平行なビームに変換され、その後ビームスプリッタで、反射ビームと透過ビームに分割され、一方のビームが受光素子に入射され、他方のビームがエタロンを介して受光素子に入射される構造を有する光モジュールにおいて、

該半導体レーザに戻って反射する反射ビームが、該ビームスプリッタで再び反射ビームと透過ビームに分割され、それぞれのビームの中心が該受光素子の受光部の中心に入射しないように受光素子を位置させて構成したことを特徴とする光モジュール。

【請求項12】

前記エタロンで反射した反射ビームが前記半導体レーザに戻って反射することを特徴とする請求項11記載の光モジュール。

【請求項13】

前記エタロンの調芯回転方向に対する入射ビーム角度を直角から最大3度以内としたことを特徴とする請求項11または12記載の光モジュール。

【請求項14】

前記ビームスプリッタでビームを分割せずに、ビームの全部または一部がエタロンを介して受光素子に入射される構造としたことを特徴とする請求項1から13の何れかに記載の光モジュール。

【請求項15】

実装される基板に対して光入射面および出射面が直角から1～5度の範囲で傾いた平行四辺形の側面形状を有するエタロンを備えたことを特徴とする光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重光通信システムに適用する光モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバによる通信は、近年、伝送容量の大容量化が求められている。このため、一本の光ファイバに波長の異なる複数の光を伝送させ、大容量化を図る波長多重光通信システムが実用化されている。使用する波長は、光ファイバの伝送損失が小さい、波長1.3または1.55μm付近の帯域に限られているため、隣り合う波長の間隔を狭くすれば伝送可能な波長数を増やすことができる。使用する波長はITU(International Telecommunication Union)の勧告により、標準化されており、使用波長の周波数間隔(スペーシング)は、200GHz、100GHz、50GHzと狭くなる傾向で、これらを波長間隔で表すと1.6nm、0.8nm、0.4nmに対応する。波長間隔を狭くするためには、各波長の高精度な安定化が必要となり、その光源として、半導体レーザの発振波長を安定化した光モジュールの需要が伸びている。

【0003】

半導体レーザの発振波長を安定化した光モジュールにおいて、波長をモニタして安定化する方法がいくつか提案されてきた。レーザからの特定波長を透過するバンドパスフィルタを使用する方法として、例えば、「波長可変型レーザ光源装置（特開平12-12968号公報）」がある。また、レーザ光をレンズで拡散光にしてエタロンフィルタ（エタロン）に斜めに入射して、波長を検出安定化する方法として、例えば、「波長分割多重光伝送システム用の波長監視制御装置（特開平10-079723号公報）」がある。また、レーザ光をレンズで平行光にしてエタロンにほぼ直角に入射して、波長を検出安定化する方法として、例えば、「波長検出部内蔵チューナブルLDモジュール（2000.3の電子情報通信学会総合大会C-3-143）」がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

レーザからの特定波長を透過するバンドパスフィルタを使用する場合、安定化する波長毎にそれに対応した特定波長の選択透過性を有するバンドパスフィルタを準備する必要があり、準備する部品点数が多くなる問題点がある。

【0005】

これに対しエタロンを利用した場合、エタロンの繰り返し波長選択性を利用して、複数の異なる波長に対して1ヶのエタロンで波長検出ができる利点がある。しかし、レーザ光をレンズで拡散光にしてエタロンに斜めに入射して波長を検出安定化する場合は、拡散光をエタロンに入射するため、透過光量が少なくなり、レーザ光の出力を大きくしなければならないという問題点がある。

【0006】

また、レーザ光をレンズで平行光にしてエタロンにほぼ直角に入射して波長を検出して安定化する場合は、平行光をエタロンに対して直角に近い角度で入射する必要があるため、エタロンからの反射光が半導体レーザの出射部に戻った場合、レーザの発振を不安定化させやすい。レーザの出射部に戻らない場合でも、レーザの後方端面に戻って反射した場合、エタロンとレーザ後方端面の間で多重反射が発生して干渉し、その結果、波長検出信号が不安定になるという問題点がある。

【0007】

本発明は、エタロンの繰り返し波長選択性を利用して、複数の異なる波長に対して波長検出ができる方法において、エタロンからの反射光が半導体レーザの出射部に戻ったり、レーザの後方端面に戻って、エタロンとレーザ後方端面の間で多重反射や干渉が発生することを防止した光モジュールを提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、半導体レーザと、該半導体レーザから出射されたビームをほぼ平行なビームに変換するレンズと、その変換されたビームを反射ビームと透過ビームとに分割するビームスプリッタと、その分割された一方のビームをエタロンを介して入射する受光素子と、もう一方のビームを入射する受光素子とを備えた光モジュールにおいて、該エタロンにビームが入射することで発生するエタロンからの反射ビームの中心が半導体レーザのビーム出射部以外に戻るように構成したものである。

また、前記エタロンからの反射ビームの中心が、前記半導体レーザの出射部を含む端面以外に戻るように構成したものである。

【0009】

また、前記半導体レーザの出射部が基板から遠くなるように実装されたジャンクションアップ接続において、前記レンズの中心と前記半導体レーザの発光中心とを合わせた状態に比べて、前記レンズを前記半導体レーザを実装した基板から離れる方向にずらして実装したものである。

【0010】

また、前記半導体レーザの出射部が基板に近くなるように実装されたジャンクションダウン接続において、前記レンズの中心と前記半導体レーザの発光中心とを合わせた状態に比べて、前記レンズを前記半導体レーザを実装した基板に近づく方向にずらして実装したものである。

【0011】

また、前記レンズのずらし量を、前記エタロンからの反射ビームのビームウェ

ストの半径と前記基板からのレーザ出射部の高さとの合計量の2分の1よりも大きくしたものである。

また、前記レンズのずらし量を、前記レンズの焦点距離の $\tan 4^\circ$ の量よりも小さくしたものである。

また、前記エタロンを透過する透過ビームに対して前記エタロンの入射面を傾けたものである。

【0012】

また、前記エタロンのビーム入射面を1～5度の範囲で傾けたものである。

【0013】

また、前記エタロンの側面形状を平行四辺形とすることで前記エタロンのビーム入射面を1～5度の範囲で傾けたものである。

【0014】

また、前記エタロンと前記エタロンを実装する基板との接合材の厚みを変えることで前記エタロンの入射面を1～5度の範囲で傾けたものである。

【0015】

また、半導体レーザから出射されたビームが、レンズでほぼ平行なビームに変換され、その後ビームスプリッタで、反射ビームと透過ビームに分割され、一方のビームが受光素子に入射され、他方のビームがエタロンを介して受光素子に入射される構造を有する光モジュールにおいて、該半導体レーザに戻って反射する反射ビームが、該ビームスプリッタで再び反射ビームと透過ビームに分割され、それぞれのビームの中心が該受光素子の受光部の中心に入射しないように受光素子を位置させて構成したものである。

【0016】

また、前記エタロンで反射した反射ビームが前記半導体レーザに戻って反射するものである。

【0017】

また、前記エタロンの調芯回転方向に対する入射ビーム角度を直角から最大3度以内としたものである。

【0018】

また、前記ビームスプリッタでビームを分割せずに、ビームの全部または一部がエタロンを介して受光素子に入射される構造としたものである。

【0019】

また、実装される基板に対して光入射面および出射面が直角から1～5度の範囲で傾いた平行四辺形の側面形状を有するエタロンを備えたものである。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0021】

まず、エタロンを用いた光モジュール全体の構成及び動作について説明する。

【0022】

図2は、光モジュールの全体構成を示す平面図である。半導体レーザ11より、前方に出射された光は前方レンズ17で平行な前方ビーム71になり、図示しないアイソレータ等を透過後、前方レンズ18にて集光され光ファイバフェルール19の端面の中心にあるファイバに入射され、通信用に使われる。この光の光量と波長を安定化するために、半導体レーザ11の後方に波長モニタ光学系が付加される。以下、本発明に直接関係しない前方の光学系は図示を省略する。波長モニタ光学系は、基板10上に部品が位置決めされ、はんだ付け、溶接、接着等により実装される。半導体レーザ11から後方に出射されたレーザ光は、後方レンズ12で平行な後方ビーム20にされ、片面にハーフミラーを有する平面型のビームスプリッタ13で、ビームスプリッタ反射ビーム21とビームスプリッタ透過ビーム22に分割される。ビームスプリッタ反射ビーム21は、レーザ光量を受光するPD1受光素子16に入射される。一方、ビームスプリッタ透過ビーム22はエタロン14を透過後、波長変動を検出するPD2受光素子15に入射される。

【0023】

図4に示すように、エタロン14は高い平行度と平面度を持ち、光学ガラスや石英ガラス等でできた平行平板であり、平行平板の両面は半透明膜41、42で構成される。入射ビーム100は、半透明膜41の膜反射率rにて決められる反

射と透過の比率に従って、R1反射ビーム111とエタロン内部を透過する光に分割され、半透明膜42にて反射される光とエタロン外部に出射されるT1透過ビーム121に分けられる。ここで、エタロン入射直角軸101に対するビーム入射角102とエタロンの屈折率が決まると、スネルの法則に従って、ビーム屈折角103は一意に決まる。以下同様に反射と透過がR1反射ビーム111、T1透過ビーム121、R2反射ビーム112、T2透過ビーム122、・・・とエタロンの両端面で繰り返される。このように発生する多くの波面が干渉してファブリペロー型の干渉計が構成され、波長選択透過型のフィルタとなる。

【0024】

このエタロンを透過した光量は、PD2受光素子15で検出され、図5に示すように、その波長の変動に対して、一定の波長間隔で繰り返しピークを持つPD2電流カーブ131となる。このため、安定化を希望する波長付近、例えば波長ロック点132で波長変動をモニタすることが可能となる。図6は、入射ビームに対するエタロンの入射面の角度で直角からのエタロン角度の変化量とPD2電流との関係を示している。光ビームに対して直角付近のエタロン角度を変化させると、第1ピーク電流133と、第1ボトム電流134を必ず検出可能である。これらの電流の例えば2分の1となるエタロン固定角度135で固定する。この状態で、波長を変化させると、図5の波長とPD2電流の関係になり、波長ロック点132にて、PD2電流カーブ131のほぼ中心に相当する波長ロックPD電流136が一定になるように制御すると、波長は一定に安定化される。ここで、実際の波長ロック点135でのエタロン角度は、100GHzスペーシングのエタロンの場合0.8~2.6度程度、50GHzスペーシングのエタロンの場合0.6~1.8度程度である。図2の実際のモジュールでは、エタロン14がビームスプリッタ透過ビーム22に対して、直角から θ_y 方向に上記の角度範囲で回転させて、エタロン固定角度135に調芯し、前述のITUで決められた特定の波長に合わせる構成としている。

【0025】

図3は、後方ビーム20の他の分岐方法であり、直角2等辺三角形のプリズム2ヶをハーフミラー面で貼り合わせたキューブ式ビームスプリッタ31を用いて

後方ビーム20を分岐している。また、図示は無いが、ビームスプリッタを用いず後方ビームの全部または一部をエタロンに透過させて波長を制御する構成も可能である。

【0026】

ここで、以上説明した波長モニタ方式に共通するエタロン14からの半導体レーザ11への戻り光について説明する。いずれの場合にも、後方ビーム中心軸23に対するエタロン14への入射角度は、回転させて調芯を行う θ_y 方向には、前述のように約3度以内であり、ほぼ直角に近い状態である。このため、エタロンを透過しない光は反射され、後方レンズ12で再び収束され、エタロンからの反射光が半導体レーザの出射部に戻って、レーザの発振を不安定化させる可能性がある。また、レーザの出射部に戻らない場合でも、レーザの後方端面に戻って反射した場合、エタロンとレーザ後方端面の間で多重反射が発生して、本来の検出信号光とその反射波同士が干渉して、その結果、波長検出信号が不安定になる可能性がある。

【0027】

これらを解決する方法を以下に説明する。

【0028】

図1は後方レンズ12の中心位置を半導体レーザ301の出射部に対して、Y+方向、つまり上方へずらした場合のエタロン14からの光ビームの反射光を示す断面図（側面図）である。説明簡略化のため、エタロン14からの反射に直接関係の無いビームスプリッタ13は省略してある。以降の図も関係ない場合、ビームスプリッタ13は適宜省略してある。また、図1は、半導体レーザ301が活性層、つまり半導体レーザ301の出射部を上方として、はんだ接続面から遠い状態のジャンクションアップ接続の場合を示している。

【0029】

図示するように、活性層、つまり半導体レーザ301の出射部の高さに対して、レンズ12の中心高さをレンズ上方Yシフト161だけ高くした場合、エタロン14に対する後方ビーム中心24のビーム入射角度26が直角から θ_x 方向に角度が大きくなる。このため、エタロン透過ビーム231の透過損失はやや大き

くなるが、エタロン14の主に半透明膜41からのエタロン反射ビーム241は半導体レーザ301の上方のエタロン反射ビーム位置311に集光され、半導体レーザ301の後方端面302には戻らないように構成することが可能となり、半導体レーザ301への戻り光、多重反射、干渉などの問題は発生しない。このレンズ上方Yシフト161の許容範囲を以下に説明する。

【0030】

図7はそのレンズ上方Yシフト161の許容最小値の算出概念を示しており、エタロン14からのエタロン反射ビーム241が、半導体レーザ301の上方にぎりぎり集光し、通過する状態を強調したものである。なお、エタロンからの反射に関係が無いエタロンを透過したビームに関する部分は図から省略してある。以降の図も関係ない場合は適宜省略してある。

【0031】

図において、半導体レーザ301から出射されたビームの中心は、レンズ上方Yシフト161だけ上方にずれたレンズ12の中心を通過し、後方ビーム中心24となる。エタロン14の表面で反射されたビームはエタロン反射ビーム中心25のように反射され、再び後方レンズ12で集光され、反射戻り光ビームウェスト321に到達する。

【0032】

ここで、半導体レーザ301にこのビームウェストがかからないようにする条件を求める。後方レンズ12とエタロン14の表面までの距離をLEとすると、LEが大きく、つまりエタロン14が遠くなる程、反射戻り光ビームウェスト321の高さはYの+方向に高くなる。最も厳しい条件として、図8に示すように、後方レンズ12の中心にエタロン14の表面が一致した $LE = 0$ の場合を仮定して条件を決定すれば、実際にエタロンが離れた $LE > 0$ の場合も満足する。すなわち、後方レンズ12の位置で反射することを想定すれば、その条件を最小許容値とすることが出来る。

【0033】

ところで、図示するように、後方レンズ12を上方にずらすと、そのずらした上方向にずれて反射光も集光される。また、その集光される反射光のずれ量は、

後方レンズ12のずれ量の2倍になる関係にある。従って、半導体レーザ301の上方にこのビームウェストがかからないようにするには、反射戻り光ビームウェスト321の半径と、半導体レーザ301の上面から活性層までの高さをレーザ出射部高さ171との合計量の半分以上を、レンズ上方Yシフト161とすればよいこととなる。

【0034】

すなわち、後方レンズ12の焦点距離 f に依存せずに、以下の条件を満足すればよいこととなる。

(レンズ上方Yシフト161)

$$> ((反射戻り光ビームウェスト321の半径) + (レーザ出射部高さ171)) / 2$$

通常のビームウェスト半径は、ビーム光強度が最大の $1/e^2$ になる光パワー分布の半径で定義する場合が多いが、この半径より外の領域でも10%以上の光パワーを有する。数%以下の光パワーの戻り光でも影響の出る可能性がある。従って、信頼性をさらに向上させるには、通常のビームウェスト半径よりも大きなビームの半径のものであっても、半導体レーザ301にかからないようにすることが好ましい。更に、後方レンズ12の組立接合時のZ方向つまり、光軸方向の位置ずれが、通常の組立方法では $\pm 10 \mu m$ 以内程度発生し、反射戻り光の半径はビームウェストより大きくなる。これらを考慮し、例えば、通常のビームウェスト半径の領域外の光パワーが1%以下となるビーム半径であって、Z方向の位置ずれより通常のビームウェスト半径よりも大きいビーム半径のものであっても半導体レーザ301にかからないようにすることが好ましく、通常のビームウェスト半径の2倍程度のものであっても半導体レーザ301にかからないようにすることが好ましい。

【0035】

すなわち、レンズ上方Yシフト161の最小条件は、実用的には以下の条件を満足することが好ましい。

(レンズ上方Yシフト161)

$$> ((反射戻り光ビームウェスト321の半径) + (レーザ出射部高さ171)) /$$

2

次に、図9はレンズ上方Yシフト161の許容最大値の算出概念を示しており、エタロン14からのエタロン反射ビーム241が、半導体レーザ301の上方を、最大の高さで通過する状態を強調して示したものである。

【0036】

前述のように。レンズ12をレンズ上方Yシフト161だけ上方にずらすと、エタロン14の表面で反射されたビームはエタロン反射ビーム中心25のように反射され、再び後方レンズ12で集光される。

【0037】

しかしながら、エタロン14に対する、後方ビーム中心24のビーム入射角度26が直角からずれ過ぎると、エタロンの透過損失が増大して、その波長選択特性が低下すると言った問題が生ずる。従って、エタロン14へのビーム入射角度26を、直角から一定の角度以内に抑える必要がある。

【0038】

ここで、エタロン14の透過損失に基づいて、ビーム入射角度26の限界を求める。ここでは、200GHz、100GHzよりも、透過損失の大きい50GHzスペーシングのエタロンについて説明する。図11は、エタロンの波長と透過率の関係を示している。理想的な平行光がエタロンに直角に入射した場合に、エタロンの膜反射率を20%、35%、50%と変化させた条件での計算値である。50GHzスペーシングのエタロンでは、0.4nm間隔で繰り返しピークを持ち、膜反射率が大きい程、透過率の最低値であるボトムが小さくなっている。波長の制御は、ピーク144とボトム145間の直線部146の中央付近で、透過率が一定、言い換えるとエタロンを透過する光量が一定になるようにファーバックする方法を想定している。この直線部146の波長範囲は広い程、波長の制御範囲が広くなる。つまり、グラフの形が三角波に近くなる、膜反射率が低い場合が望ましい。実際の光学系では、レンズの収差により、平行光でない成分が含まれることや、エタロンの平行度の加工誤差、エタロンに対するビームの入射角の直角からのずれ、レンズ組立時の光軸方向の位置ずれ等が生じる。このため、ピークの透過率は1より小さくなり、ボトムの透過率は計算値よりも大きくなっている。

なる。このピークとボトムの間隔が狭くなることを考慮すると、実際には、エタロンの膜反射率は30~40%前後が適している場合が多い。

【0039】

そこで、50GHzスペーシングで膜反射率35%のエタロンを使用した場合に、レンズ中心の上方シフト量の角度換算値と透過率の関係を実測した結果を、図12に示す。横軸は、レンズ中心の上方シフト量の角度換算値であり、図9において、レンズ上方Yシフト161と、後方レンズ12の焦点距離f（ほぼ平行ビームとするためには、一般に半導体レーザ301とレンズ12の中心との距離となるように設定される）とのなす角度で、半導体レーザ301の出射部に対するレンズ中心の角度ずれ261に相当する。これは、エタロン14の入射面が基板10に垂直な場合は、エタロン14へのビーム入射角度26から90度を引いたものである。光軸方向のレンズ位置を最適化して、ビームをほぼ平行光とし、その後、レンズ上方Yシフト161毎に波長を変化させて、図11のピークとボトムを求め、それらをプロットしたものが、平行光のピーク181と、平行光のボトム182である。ここで、ピークとボトムの透過率差183が小さ過ぎる、つまり、ピークとボトム間の直線部の傾きが小さ過ぎると、波長の制御精度が低下する。このため、ピークとボトムの透過率差183は、通常0.1程度以上あることが望ましい。

【0040】

また、実際のレンズ組立を、はんだ付けや溶接で行う場合、光軸方向の位置ずれは±10μm程度以内発生する。このデフォーカスにより、平行光のピーク181は、デフォーカス時のピーク184のように下がり、平行光のボトム182はデフォーカス時のボトム185のように上がる。

【0041】

図からも分かるように、ピークとボトムの透過率差183が0.1以上となるには、レンズ中心の上方シフト量の角度換算値が約5度までであり、それ以内に抑える必要がある。すなわち、レンズ12の焦点距離fに応じて、以下の条件を満足する必要がある。

$$(レンズ上方Yシフト161) < (レンズ焦点距離f) \times (\tan 5^\circ)$$

しかし、実際には、図10に示すように、エタロン14の底面に対するビーム入射面の直角度の加工精度が直角よりずれている。更に、エタロン14と基板10を接合するエタロン接合材251の厚みもばらつく。これらのずれ、ばらつきは、前述したように、傾きに換算すると、通常0.5~1度程度である。このため、図10に示すように、エタロン14の入射面が θ_x の一方向に傾いた場合は上記の条件では満足しない。また、レンズ上方Yシフト161を大きくすると、後方レンズ12の画角を越えて、レンズの収差や光パワーの損失が大きくなり、望ましくない。このため、前述した限界の約5度から1度を引いて、実用的には、入射ビームに対するエタロンの入射面の角度を、直角から4度以内となる、角度ずれ限界1.86に抑える方が良い。したがって、レンズ上方Yシフト161の最大条件は、実用的には下記を満足すれば良い。

$$(\text{レンズ上方Yシフト161}) < (\text{レンズ焦点距離} f) \times (\tan 4^\circ)$$

以上より、実用的なレンズ上方Yシフト161の許容範囲を求めることができる。

【0042】

ところで、光ビームの入射角に対して、エタロンの入射面を傾けて配置し、エタロンからの反射ビームを半導体レーザの上方を通過させる方法であっても同様の効果を達成することが可能である。

【0043】

図13は、光ビームに対してエタロン14を傾けた場合のエタロン14からの光ビーム反射光を示す側面図である。半導体レーザの活性層の高さに対して、レンズ中心高さを同一にして意図的にシフトしない場合、光ビームの入射角に対して、エタロン14を斜めに配置し、光ビームの入射角度が直角から θ_x 方向に角度をずらすことで、反射戻り光を半導体レーザ301の上方に集光させる。

【0044】

ここで、この角度ずれの最小値を求める。図19に示すように、最も厳しい条件として、後方レンズ12とエタロン14の表面までの距離 $L_E = 0$ の場合を仮定して条件を決定すれば、その値が許容最小値となり、実際にエタロンが離れた $L_E > 0$ の場合も満足する。この $L_E = 0$ の場合において、エタロン反射ビーム

中心は、エタロンの直角からの角度ずれ28の2倍の角度29で反射するので、以下を満足すればよい。

$$\begin{aligned}
 & (\text{レンズ焦点距離 } f) \times (\tan(2 \times \text{エタロン角度ずれ } 28)) \\
 & > ((\text{反射戻り光ビームウェスト } 321 \text{ の半径}) + (\text{レーザ出射部高さ } 171)) \\
 &)
 \end{aligned}$$

さらに、前述と同様に、反射戻り光ビームウェスト321の半径も通常の2倍の範囲とすると、以下を満足すれば良い。

$$\begin{aligned}
 & (\text{レンズ焦点距離 } f) \times (\tan(2 \times \text{エタロン角度ずれ } 28)) \\
 & > (2 \times (\text{反射戻り光ビームウェスト } 321 \text{ の半径}) + (\text{レーザ出射部高さ } 171))
 \end{aligned}$$

ここで、代表的な値を使ってエタロン角度ずれ28を具体的に求める。

【0045】

後方レンズ12に使用されるマイクロレンズは、通常、開口数が0.4程度以上であり、製造と取り扱いの容易さから、外径500 μm 以上、焦点距離は300 μm 以上であるとすると、反射戻り光ビームウェスト321の半径は、回折限界の2~3 μm 前後と求められ、レンズ焦点距離 $f = 300 \mu\text{m}$ 、反射戻り光ビームウェスト321の半径 = 3 μm 、レーザ出射部高さ $171 = 5 \mu\text{m}$ の条件を仮定すると、エタロン角度ずれ $28 > \text{約 } 1.0$ 度となる。すなわち、角度ずれの最小値は約1度前後となる。

【0046】

一方、角度ずれの最大値は、前述のレンズ中心をシフトした場合とほぼ同様に、エタロンの透過損失から求めることができる。前述同様に、50GHzスペーシングで膜反射率35%のエタロンを使用した場合に、入射ビームの直角からの角度ずれ量と透過率の関係を実測した結果を、図14に示す。光軸方向のレンズ位置を最適化して、ビームをほぼ平行光とし、その後、エタロン14の入射面の角度毎に波長を変化させて、図11のピークとボトムを求め、それらをプロットしたものが、平行光のピーク191と、平行光のボトム192である。レンズをシフトした場合は、レンズの収差により、角度が大きくなると、ピークとボトムの透過率差183がほとんど無くなっている（図12参照）のに対し、エタロ

ンの入射角度を傾けた場合には、レンズのシフトによる収差の影響が小さく、角度が大きくても、ピークとボトムの透過率差193が残っており（図14参照）、使い勝手が良い。

【0047】

この場合も、前述同様に、波長制御性の観点から、ピークとボトムの透過率差193は、通常0.1程度以上あることが望ましく、入射ビームの直角からの角度ずれ量は、5～6度以内に抑えることが好ましい。

【0048】

実際のレンズ組立を、はんだ付けや溶接で行う場合、光軸方向の位置ずれは±10μm程度以内発生する。このデフォーカスにより、平行光のピーク191は、デフォーカス時のピーク194のように下がり、平行光のボトム192はデフォーカス時のボトム195のように上がる。また、レンズ組立時には、光軸に垂直のXやY方向にも位置ずれが±10μm程度以内発生し、エタロンに対する入射角度も微妙にばらつきが発生する。このため、ピークとボトムの透過率差193が0.1以上となるには、最大4～5度程度となる角度ずれ限界196以内にすることがさらに好ましい。

【0049】

エタロンに対する入射角度を傾ける構成を図13、図15に示す。図13は、エタロンの形状を平行四辺形にした構成であり、図15は、接合部材を用いて基板へエタロンを傾けて実装した構成である。

【0050】

図13に示すように、断面を平行四辺形にあらかじめ加工したエタロン14を使用して、光ビームに対して、エタロン入射面角度262を直角から1～5度の範囲で傾けると、前述同様に、エタロン透過ビーム232の透過損失はやや大きくなるが、エタロンからのエタロン反射ビーム242は半導体レーザ301の上方のエタロン反射ビーム位置312に集光され、前述の戻り光や多重反射や干渉の問題は発生しない。

【0051】

図15に示すように、断面が直方体であるエタロン14を使用しても同様の効

果が可能である。この場合、半導体レーザの発光中心に最も近い後方端面の縁からエタロンを遠ざける、つまり θ_x 方向にエタロンが 1 ~ 5 度の範囲で傾むくように、エタロンと基板との間の接合材 251 の厚みを変えて接合すれば、同様に戻り光や多重反射や干渉の問題は発生しない。

【0052】

以上のように、半導体レーザの出射部に対して、レンズ中心高さを同一にして、レンズを意図的にシフトせずに、ビームに対してエタロンを傾ける方法では、レンズ中心をシフトする方法で発生するレンズの収差の影響が小さい。このため、エタロンの種類を 100 GHz スペーシングや膜反射率の違うものに変えた場合には、ビームに対するエタロンの最大傾き角を 5 度以上とすることが可能な場合もあり得ることは言うまでもない。

【0053】

次に、半導体レーザ 303 が活性層を下方として、はんだ接続面から近くなるジャンクションダウン接続の場合について説明する。この場合も前述のジャンクションアップの考え方を用いることが出来るが、半導体レーザの上方ではなく、下方に反射光を集光させる方が構造上好ましい。

【0054】

図 16 は、レンズ 12 を Y- 方向（下方向）へずらした場合のエタロンからの光ビーム反射光を示す側面図である。活性層の高さに対して、レンズ中心高さをレンズ下方 Y シフト 163 だけ低くした場合、エタロン 14 に対する光ビームの入射角度が直角からの角度が大きくなるために、エタロン透過ビーム 233 の透過損失はやや大きくなるが、エタロンからのエタロン反射ビーム 243 は半導体レーザ 303 の下方のエタロン反射ビーム位置 313 に集光され、前述の戻り光、多重反射、干渉の問題は発生しない。この場合、上方に設置した赤外線検出カメラ 314 で、エタロン反射ビーム位置 313 を観察することができるため、戻り光の影響の有無を容易に確認できる利点もある。

【0055】

次に、エタロンで反射した光ビームが、半導体レーザの端面で反射し、その反射光が受光素子へ導かることで生ずる影響を改善する構成について説明する。

これは、エタロンからの反射光が、半導体レーザのレーザ出射部以外の面で反射する場合が想定される。例えば、前述の図6で説明したように、XZ平面においてビームに対するエタロンの角度はほぼ直角に近いが、波長ロック点のエタロン角度は100GHzスペーシングのエタロンの場合、直角から0.8~2.6度程度、50GHzスペーシングのエタロンの場合0.6~1.8度程度傾いている。そこで、この微妙な角度の傾き方向を考慮し、多重反射や干渉の影響を抑制する方法が必要となる。

【0056】

図17は、光ビームのエタロンへの入射角が直角から、時計回り回転角度153に調整された場合を示す平面図である。図18は、図17で、光ビームのエタロンへの入射角が直角から、反時計回り回転角度154に調整された場合を示す平面図である。

【0057】

図17では、エタロン14からの反射光211は半導体レーザ11の端面で反射し、ビームスプリッタ13で分岐され、一方のビームはエタロン反射ビーム位置212に戻る。もう一方のビームは、エタロン14を再び透過し、エタロン透過ビーム位置213に戻る。本来のレーザ光量の検出信号光は、ビームスプリッタ反射ビーム位置202にあるため、PD1受光素子16をPD1位置決め方向204の方向から位置を調芯することにより、エタロン反射ビーム位置212がPD1受光素子16の受光部の中心に入射することがなくなり、レーザ光量を受光するPD1受光素子16での光信号を安定化可能となる。また、本来の波長ロックの検出信号光は、エタロン透過ビーム位置203にあるため、PD2受光素子15をPD2位置決め方向205の方向から位置を調芯することにより、エタロン透過ビーム位置213がPD2受光素子15の受光部の中心に入射することがなくなり、波長ロック用の光を受光するPD2受光素子15での光信号を安定化可能となる。ここで、ビームスプリッタ反射ビーム位置202とエタロン反射ビーム位置212の距離間隔、ビーム直径、PD1受光素子16の直径の大小関係によっては、多重反射や干渉の影響を完全に分離できない状態も生じる。

【0058】

そこで、図17では、ビームスプリッタ反射ビーム位置202をPD1受光素子16の中心付近に、エタロン反射ビーム位置212をPD1受光素子16の外周部になるように、PD1受光素子16の位置をずらして配置することで、多重反射や干渉の影響を抑制している。当然、同様の方法でPD2受光素子15の位置をずらして多重反射や干渉の影響を抑制することもできる。

【0059】

同様に、図18では、エタロン14からの反射光221は半導体レーザ11の端面で反射し、ビームスプリッタ13で分岐され、一方のビームはエタロン反射ビーム位置222に戻る。もう一方のビームは、エタロン14を再び透過し、エタロン透過ビーム位置223に戻る。本来のレーザ光量の検出信号光は、ビームスプリッタ反射ビーム位置202にあるため、PD1受光素子16をPD1位置決め方向206の方向から位置を調芯することにより、エタロン反射ビーム位置222がPD1受光素子16の受光部の中心に入射することがなくなり、レーザ光量を受光するPD1受光素子16での光信号を安定化可能となる。また、本来の波長ロックの検出信号光は、エタロン透過ビーム位置203にあるため、PD2受光素子15をPD2位置決め方向207の方向から位置を調芯することにより、エタロン透過ビーム位置223がPD2受光素子15の受光部の中心に入射することがなくなり、波長ロック用の光を受光するPD2受光素子15での光信号を安定化可能となる。

【0060】

以上のように、入射ビームに対するエタロンの入射面の角度を、XZ平面において直角から最大3度以内とし、その直角からの角度ずれ方向に対応して、受光素子の位置を特定の方向にずらして位置決めして配置することにより、エタロンとレーザ端面の間で多重反射や干渉を抑制し、レーザ光量と波長検出信号を安定化することが可能になる。

【0061】

以上で説明した、光ビームをYZ側面内で調整する方法と、XZ平面内で調整する方法は、どちらか一方だけを適用してもよい。さらに同時に適用すれば、多重反射や干渉をより抑制し、レーザ光量と波長検出信号をより安定化できる。

【0062】

このように、レーザ光をレンズで平行光にしてエタロンにほぼ直角に入射して波長を検出安定化する方式を適用することにより、エタロンの繰り返し波長選択性を利用して、複数の異なる波長に対して波長検出ができる利点があり、波長選択性部品の共通化が可能となり、製造の低コスト化が実現できる。また、エタロンからの反射光が半導体レーザの出射部に戻ったり、レーザの後方端面に戻って反射してエタロンとレーザ後方端面の間で多重反射や干渉が発生することがなくなり、波長検出信号が安定化される。このため製造の高歩留りが達成される効果もある。以上のように、高機能で高信頼性の光モジュール及びその製造方法を提供することが可能になる。

【0063】

【発明の効果】

本発明によれば、エタロンの繰り返し波長選択性を利用して、複数の異なる波長に対して波長検出ができる方法において、エタロンからの反射光が半導体レーザの出射部に戻ったり、レーザの後方端面に戻って、エタロンとレーザ後方端面の間で多重反射や干渉が発生することを防止した光モジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光モジュールの第一の実施例で、レンズを上方へずらした場合のエタロンからの光ビームの反射光を説明する側面図

【図2】 本発明の光モジュールの第一の実施例の全体構成を説明する平面図

【図3】 本発明で、別のビームスプリッタを用いた場合を説明する平面図

【図4】 エタロンでの光の状態を説明する断面図

【図5】 波長とPD2電流との関係を説明する図

【図6】 エタロン角度とPD2電流との関係を説明する図

【図7】 レンズを上方へ最小量だけずらした場合を説明する側面図

【図8】 レンズを上方へ最小量だけずらした場合を説明する側面図

【図9】 レンズを上方へ最大量だけずらした場合を説明する側面図

【図10】 図9で、エタロンに傾きが生じた場合を説明する側面図

【図11】エタロンの波長と透過率の関係を説明する図

【図12】レンズ中心の上方シフト量の角度換算値と透過率の関係を説明する図

【図13】本発明で、エタロンの側面形状を平行四辺形にした場合のエタロンからの光ビームの反射光を説明する側面図

【図14】入射ビームの直角からの角度ずれ量と透過率の関係を説明する図

【図15】本発明で、エタロンを傾けて接合した場合のエタロンからの光ビームの反射光を説明する側面図

【図16】本発明で、レンズを下方へずらした場合のエタロンからの光ビームの反射光を説明する側面図

【図17】本発明で、光ビームのエタロンへの入射角が直角から時計回りに変化した場合を説明する平面図

【図18】本発明で、光ビームのエタロンへの入射角が直角から反時計回りに変化した場合を説明する平面図

【図19】エタロンの入射面を最小量だけ傾けた場合を説明する側面図

【符号の説明】

- 1 0 … 基板
- 1 1 … 半導体レーザ
- 1 2 … 後方レンズ
- 1 3 … ビームスプリッタ
- 1 4 … エタロン
- 1 5 … P D 2 受光素子
- 1 6 … P D 1 受光素子
- 1 7 … 前方レンズ
- 1 8 … 前方レンズ等
- 1 9 … 光ファイバフェルール
- 2 0 … 後方ビーム
- 2 1 … ビームスプリッタ反射ビーム
- 2 2 … ビームスプリッタ透過ビーム
- 2 3 … 後方ビーム中心軸

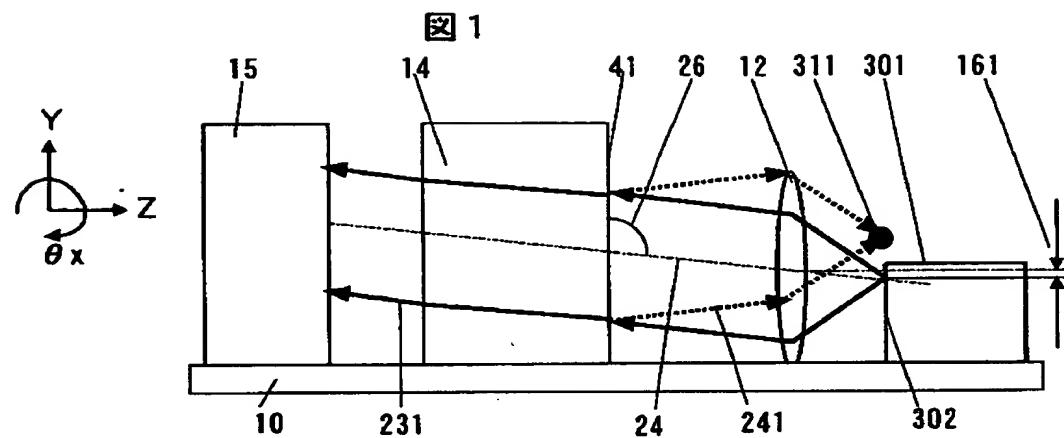
2 4 … 後方ビーム中心
2 5 … エタロン反射ビーム中心
2 6 … ビーム入射角度
2 7 … レンズ中心の角度ずれ
3 1 … キューブ式ビームスプリッタ
4 1 … 半透明膜
4 2 … 半透明膜
7 1 … 前方ビーム
1 0 0 … 入射ビーム
1 0 1 … エタロン入射直角軸
1 0 2 … ビーム入射角
1 0 3 … ビーム屈折角
1 1 1 … R 1反射ビーム
1 1 2 … R 2反射ビーム
1 2 1 … T 1透過ビーム
1 2 2 … T 2透過ビーム
1 3 1 … P D 2電流カーブ
1 3 2 … 波長ロック点
1 3 3 … 第1ピーク電流
1 3 4 … 第1ボトム電流
1 3 5 … エタロン固定角度
1 3 6 … 波長ロック P D 2電流
1 4 1 … 膜反射率 20% データ
1 4 2 … 膜反射率 35% データ
1 4 3 … 膜反射率 50% データ
1 4 4 … ピーク
1 4 5 … ボトム
1 4 6 … 直線部
1 5 3 … 時計回り回転角度

154 … 反時計回り回転角度
161 … レンズ上方Yシフト
163 … レンズ下方Yシフト
171 … レーザ出射部高さ
181 … 平行光のピーク
182 … 平行光のボトム
183 … ピークとボトムの透過率差
184 … デフォーカス時のピーク
185 … デフォーカス時のボトム
186 … 角度ずれ限界
191 … 平行光のピーク
192 … 平行光のボトム
193 … ピークとボトムの差
194 … デフォーカス時のピーク
195 … デフォーカス時のボトム
196 … 角度ずれ限界
201 … エタロン透過ビーム
202 … ビームスプリッタ反射ビーム位置
203 … エタロン透過ビーム位置
204 … PD1位置決め方向
205 … PD2位置決め方向
206 … PD1位置決め方向
207 … PD2位置決め方向
211 … エタロン反射ビーム
212 … エタロン反射ビーム位置
213 … エタロン透過ビーム位置
221 … エタロン反射ビーム
222 … エタロン反射ビーム位置
223 … エタロン透過ビーム位置

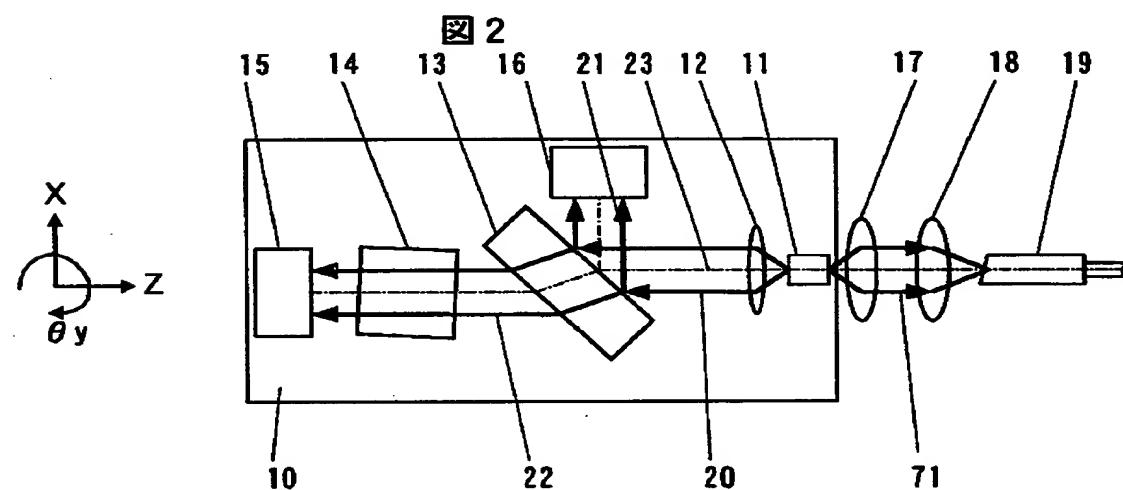
- 231 … エタロン透過ビーム
- 232 … エタロン透過ビーム
- 233 … エタロン透過ビーム
- 241 … エタロン反射ビーム
- 242 … エタロン反射ビーム
- 243 … エタロン反射ビーム
- 251 … エタロン接合材
- 261 … レンズ中心の角度ずれ
- 262 … エタロン入射面角度
- 301 … 半導体レーザ
- 302 … 後方端面
- 303 … 半導体レーザ
- 311 … エタロン反射ビーム位置
- 312 … エタロン反射ビーム位置
- 313 … エタロン反射ビーム位置
- 314 … 赤外線検出カメラ
- 321 … 反射戻り光ビームウェスト

【書類名】 図面

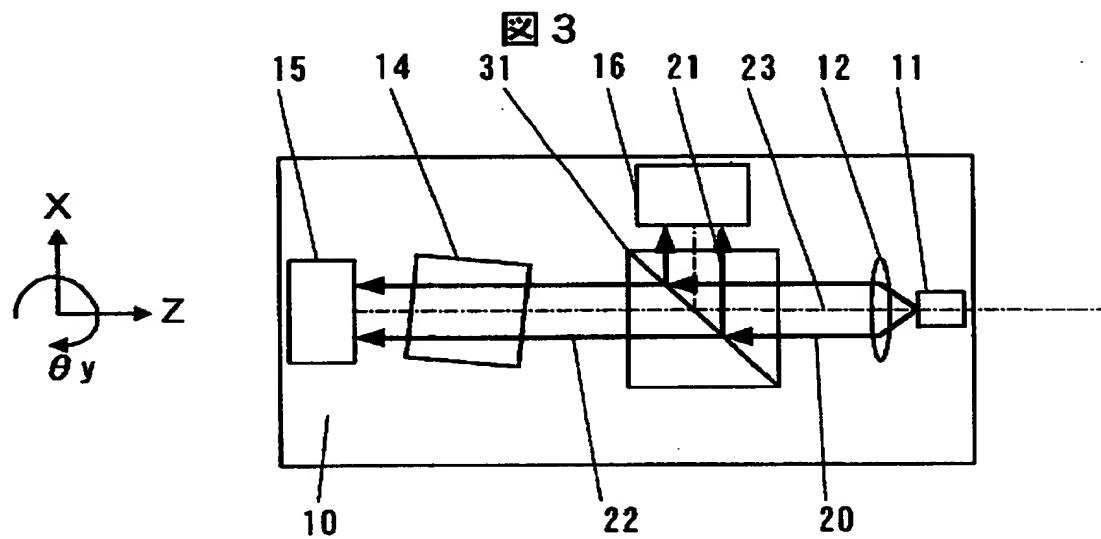
【図1】



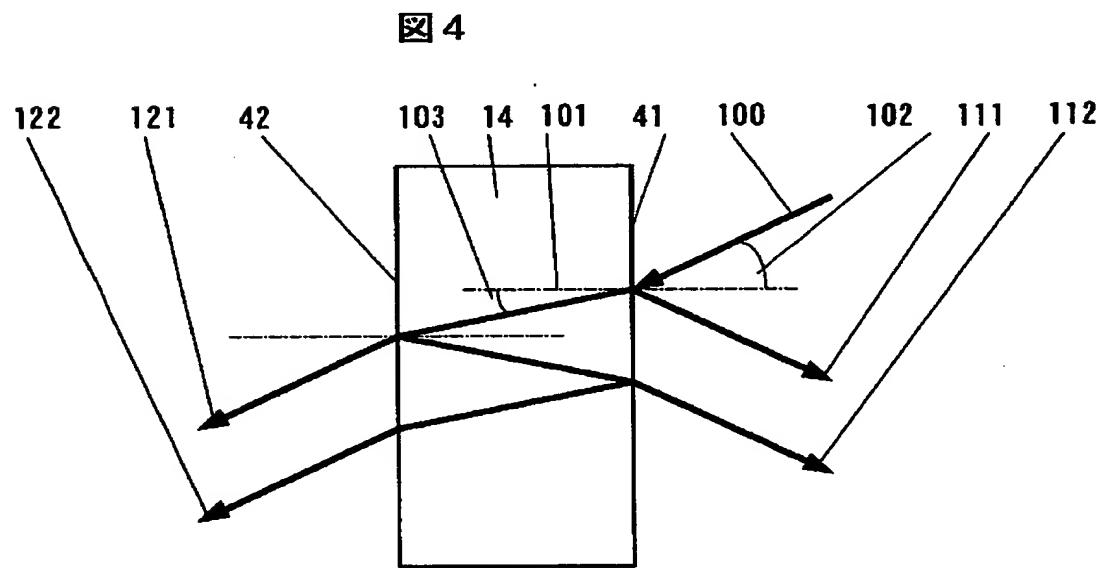
【図2】



【図3】

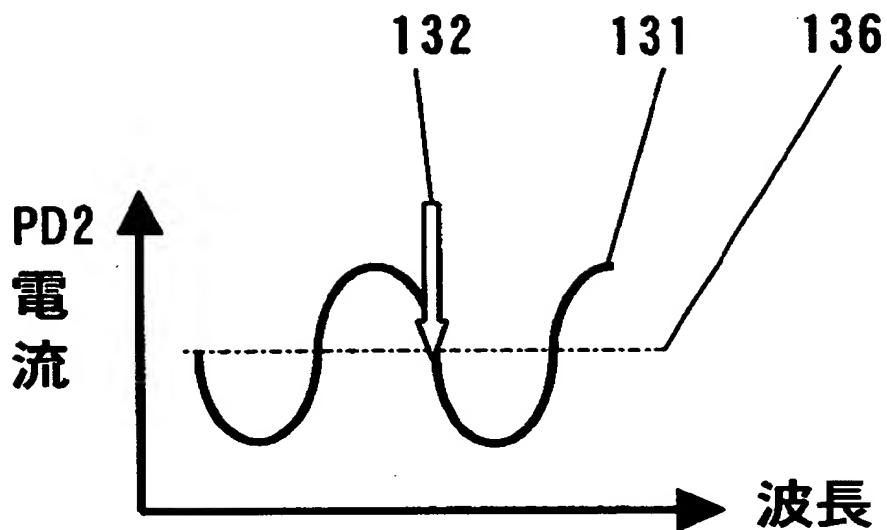


【図4】



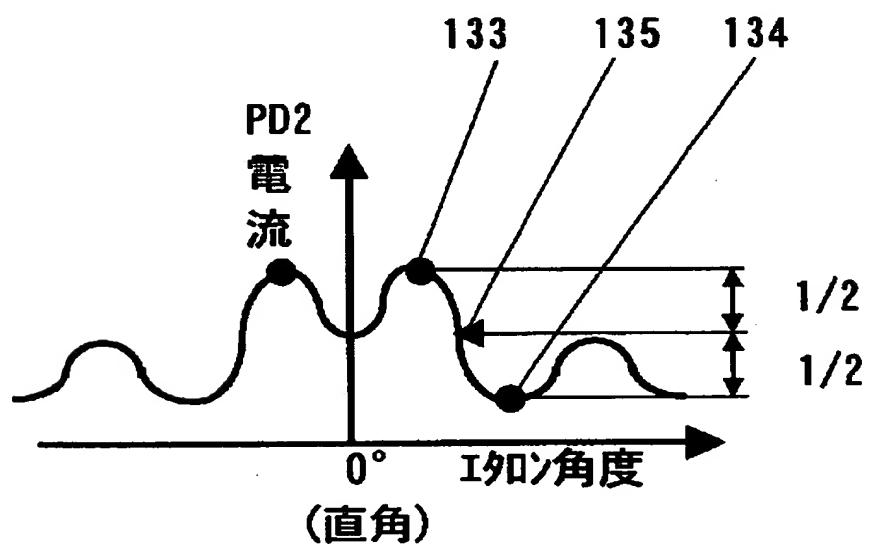
【図5】

図5

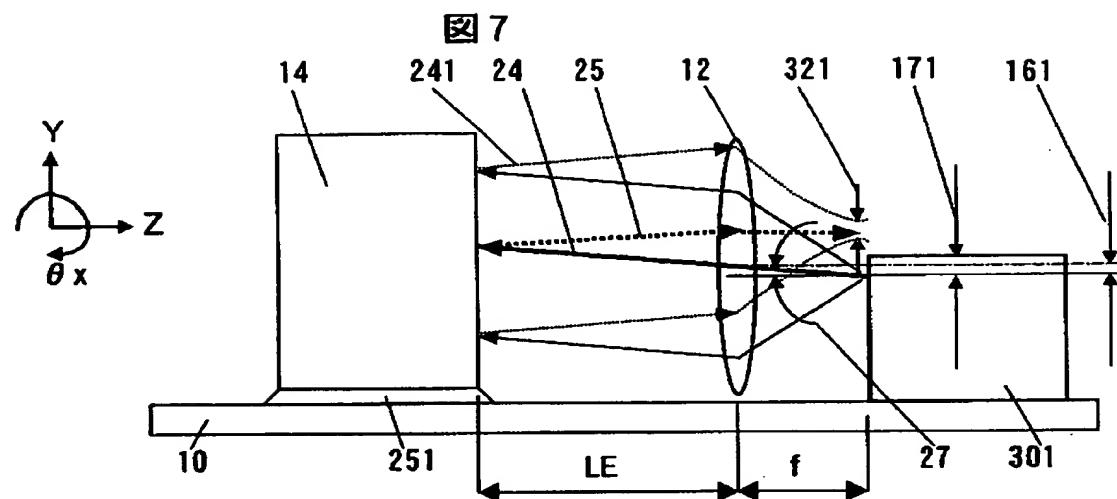


【図6】

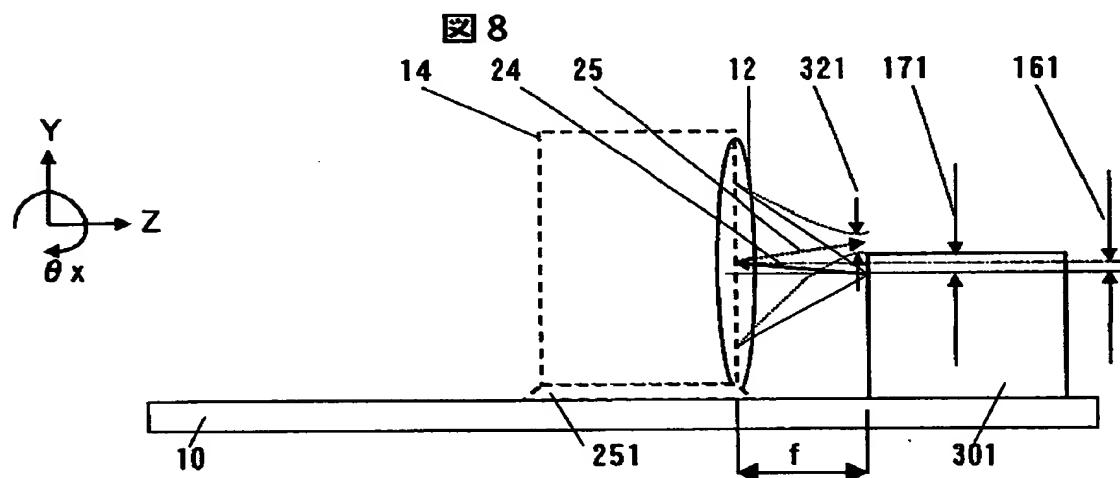
図6



【図7】

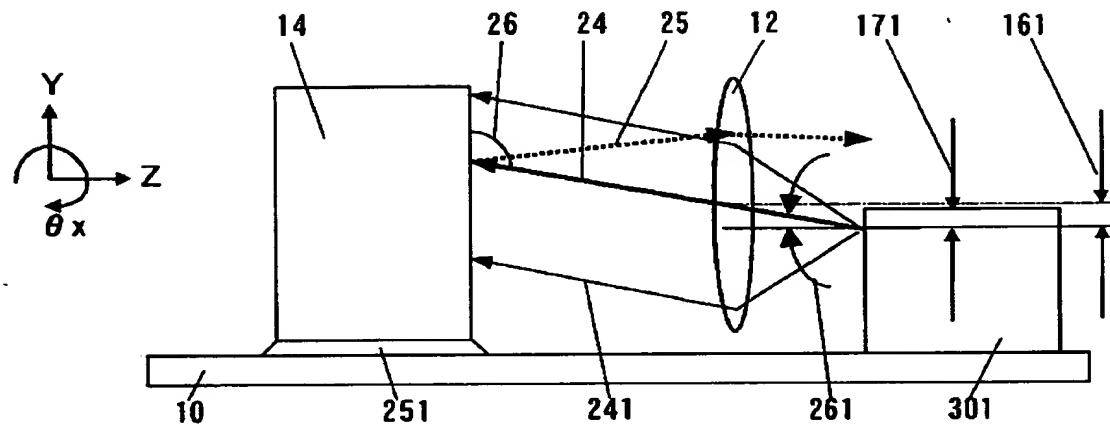


【図8】



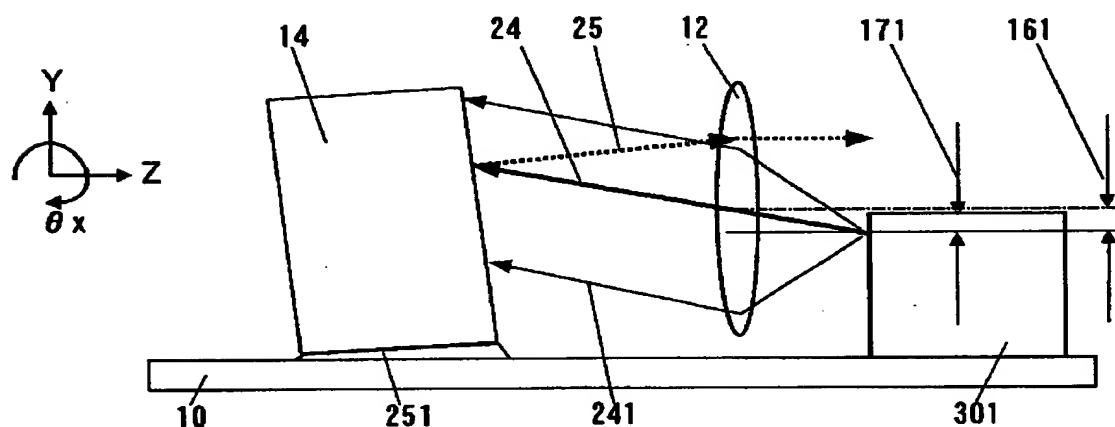
【図9】

図9



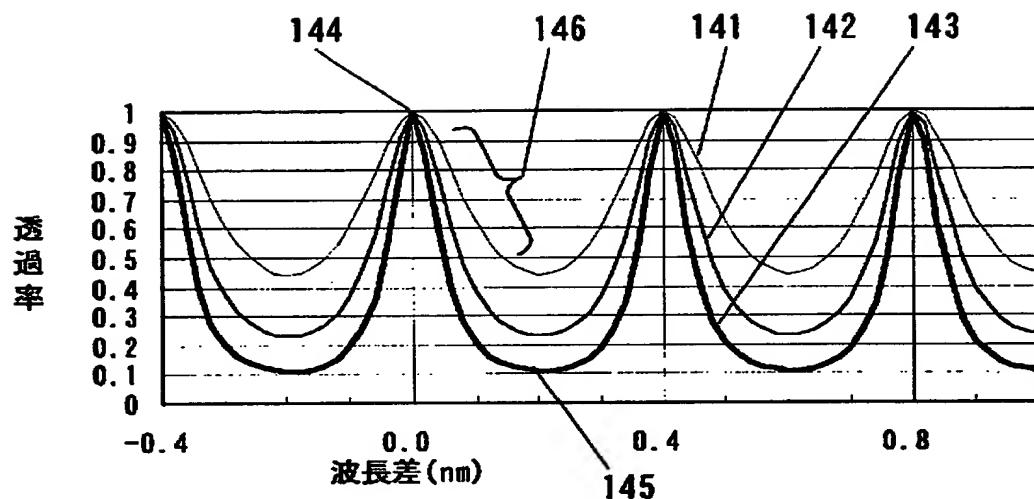
【図10】

図10



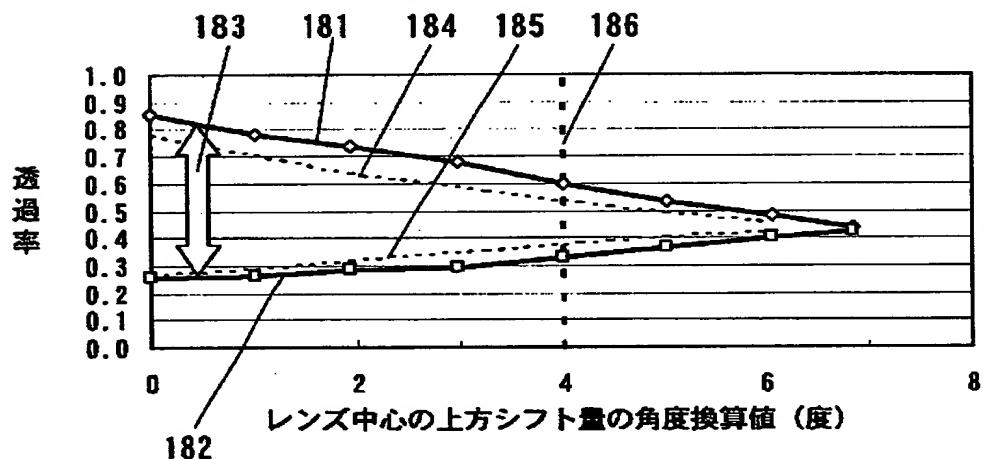
【図11】

図11

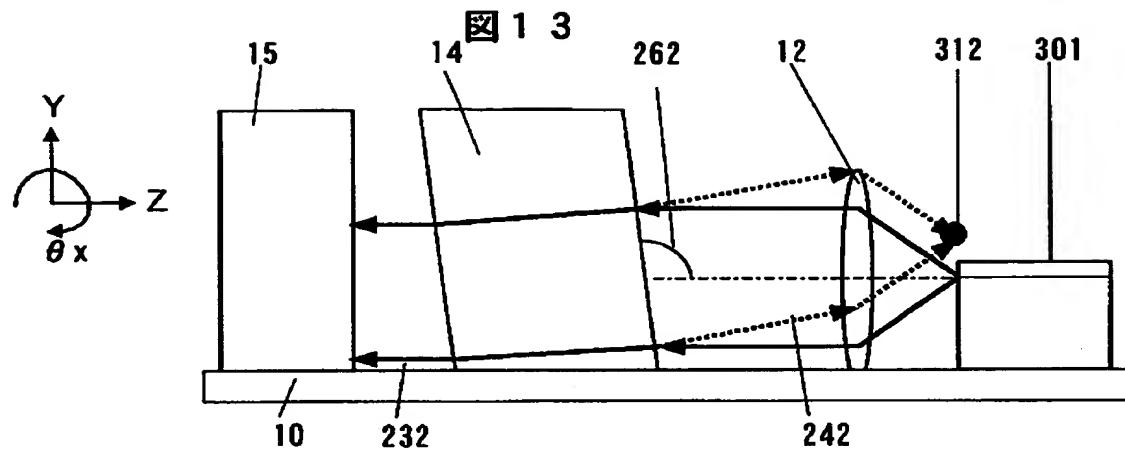


【図12】

図12

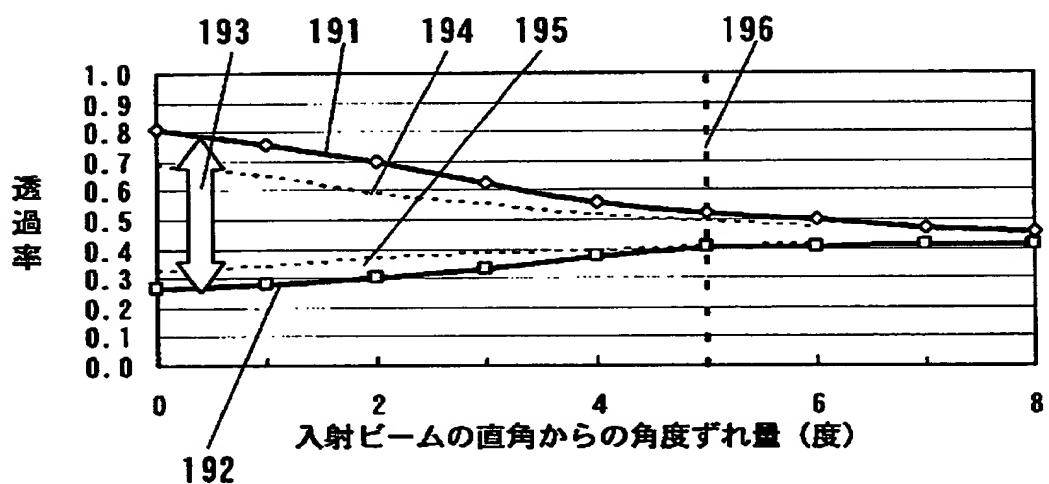


【図13】

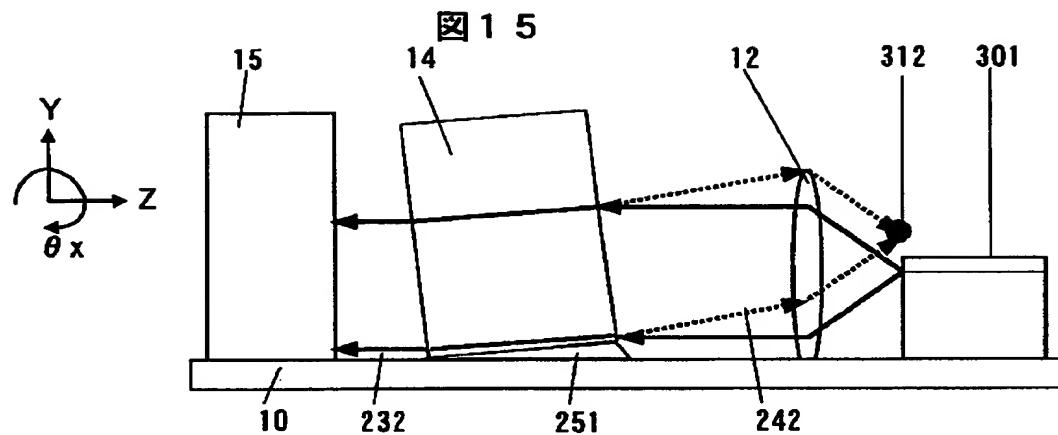


【図14】

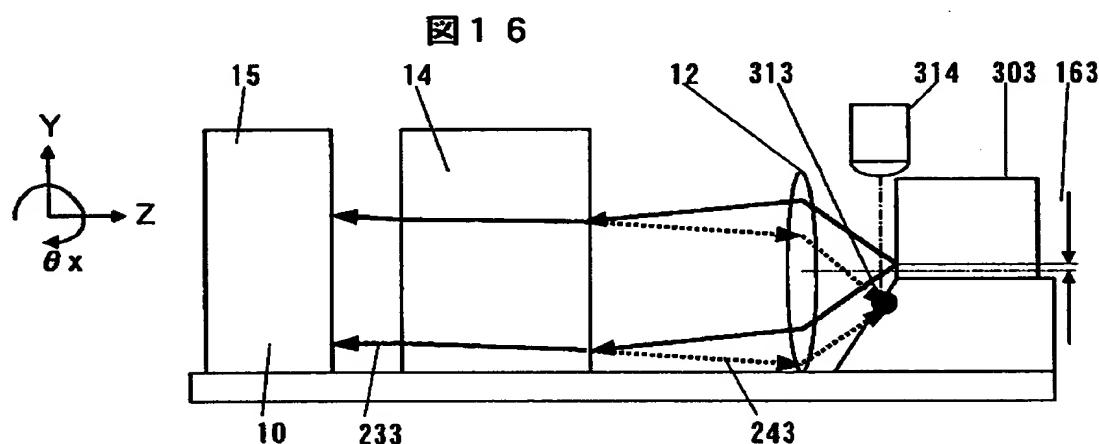
図14



【図15】

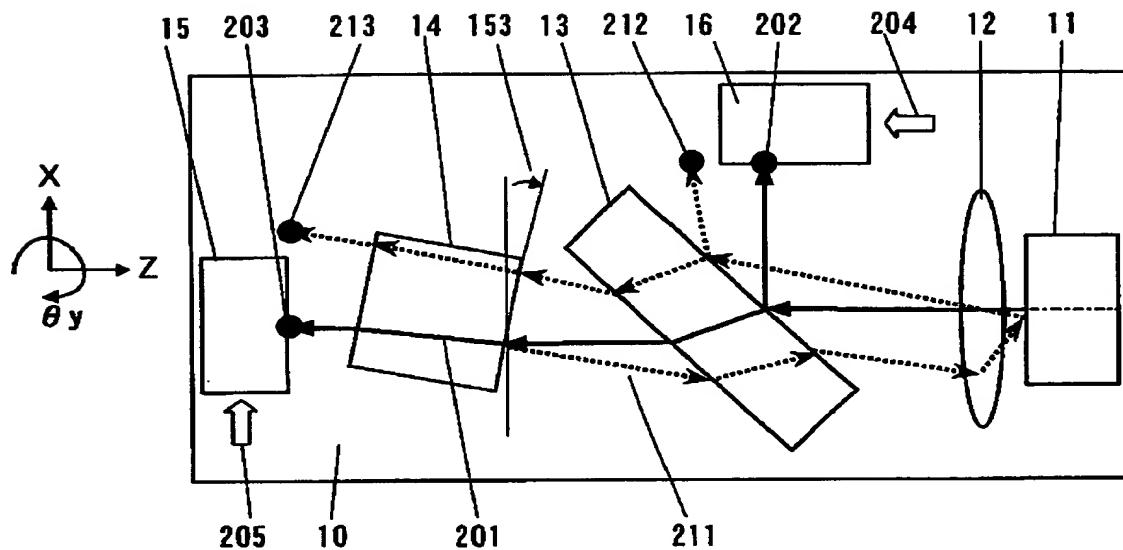


【図16】



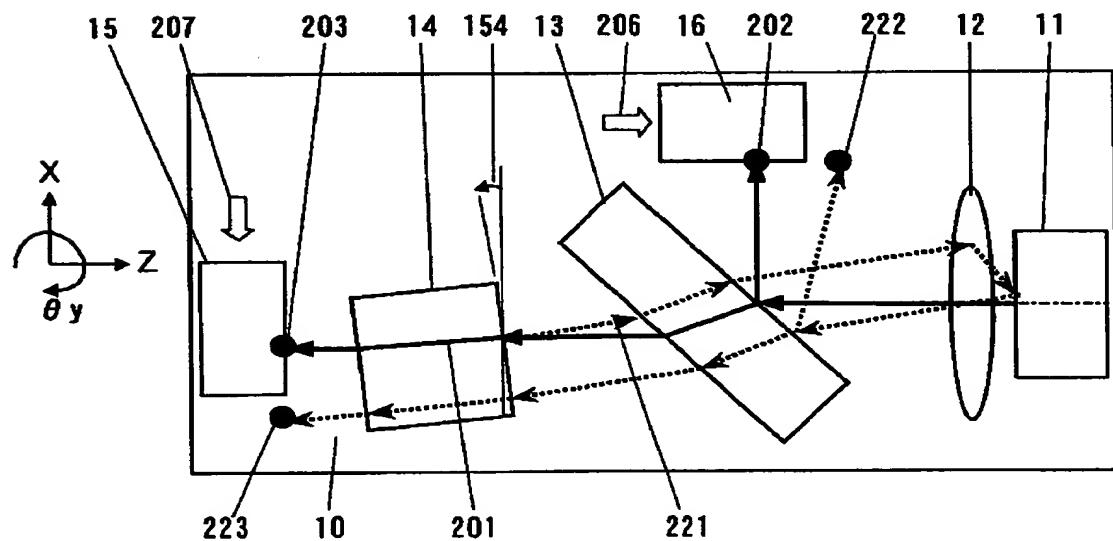
【図17】

図17

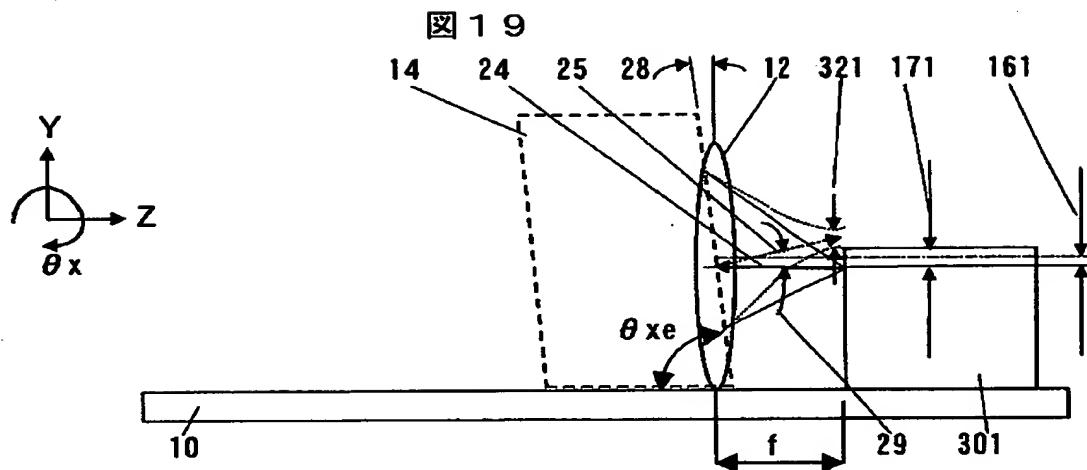


【図18】

図18



【図19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

本発明は、エタロンの繰り返し波長選択性を利用して、複数の異なる波長に対して波長検出ができる方法において、エタロンからの反射光が半導体レーザの出射部に戻ったり、レーザの後方端面に戻って、エタロンとレーザ後方端面の間で多重反射や干渉が発生することを防止した光モジュールを提供することを目的とする。

【解決手段】

上記目的を達成するために、本発明は、半導体レーザと、該半導体レーザから出射されたビームをほぼ平行なビームに変換するレンズと、その変換されたビームを反射ビームと透過ビームとに分割するビームスプリッタと、その分割された一方のビームをエタロンを介して入射する受光素子とを備えた光モジュールにおいて、該エタロンにビームが入射することで発生するエタロンからの反射ビームの中心が半導体レーザのビーム出射部以外に戻るように構成したものである。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所